



Våg- och materiefysik för civilingenjörer

FY501G-0100

2020-01-14, kl. 08:15-13:15

Hjälpmedel: Skrivmateriel, lärobok¹ och miniräknare.

Betygskriterier: Skrivningens maxpoäng är 60. Samtliga deluppgifter kan ge 2 poäng och bedöms utifrån kriterier för *kunskap och förståelse; färdighet, förmåga och värderingsförmåga;* samt *skriftlig avrapportering*. För betyg 3/4/5 räcker det med 4 poäng inom vart och ett av områdena *vågrörelselära, elektromagnetism, kvantmekanik och materiens struktur* samt 30/40/50 poäng totalt. Detaljerna framgår av separat dokument publicerat på Blackboard.

Anvisningar: Motivera väl med sidhänvisningar och formelnummer från läroboken, redovisa alla väsentliga steg, rita tydliga figurer och svara med rätt enhet. Redovisa inte mer än en huvuduppgift per blad och lämna in i uppgiftsordning.

Skrivningsresultat: Meddelas inom 15 arbetsdagar.

Examinator: Magnus Ögren.

Lycka till!

1.

- a) Vad är intensiteten på avståndet 2.5 m från en punktformig ljudkälla som sänder ut ljud med effekten 12.0 W?
- b) Två olika ljud skiljer sig i ljudnivå med 6.00 dB. Vad är förhållandet (kvoten) mellan deras respektive intensiteter?
- c) En person slår på ena änden av en lång smal stång med en hammare. Ljudets hastighet i stången är 15 gånger större än vad den är i luft. En person som lyssnar nära stångens andra ände hör ljudet från hammarslaget två gånger, först då ljudet färdats genom stången och 60 ms senare då ljudet färdats genom luften. Vad var stångens längd om ljudhastigheten i luft där var 343 m/s?

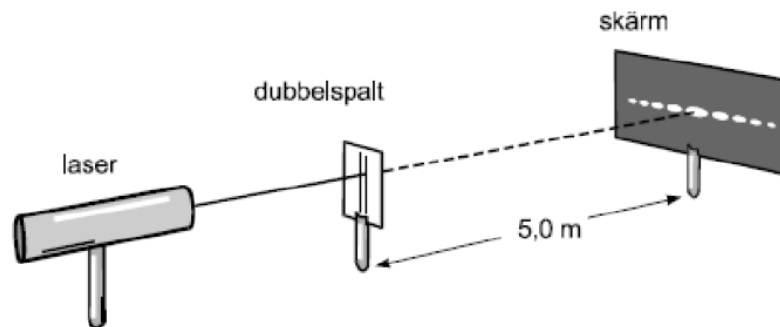
En ljudkälla A och en reflekterande yta B rör sig båda mot varandra i stillastående luft. Farten för A är 20.0 m/s, farten för B är 80.0 m/s, och ljudfarten är 329 m/s. Ljudkällan A sänder ut ljudvågor med frekvensen 2000 Hz uppmätt i referenssystemet för A.

- d) Vilken frekvens uppmäts i referenssystemet för B när ljudvågorna nått dit?
- e) Ljudet reflekteras vid B tillbaka mot A, vilken frekvens uppmäts i referenssystemet för A på de reflekterade ljudvågorna som nått tillbaka dit?

¹ *Principles of Physics* 10.th ed. Halliday, Resnick, Walker

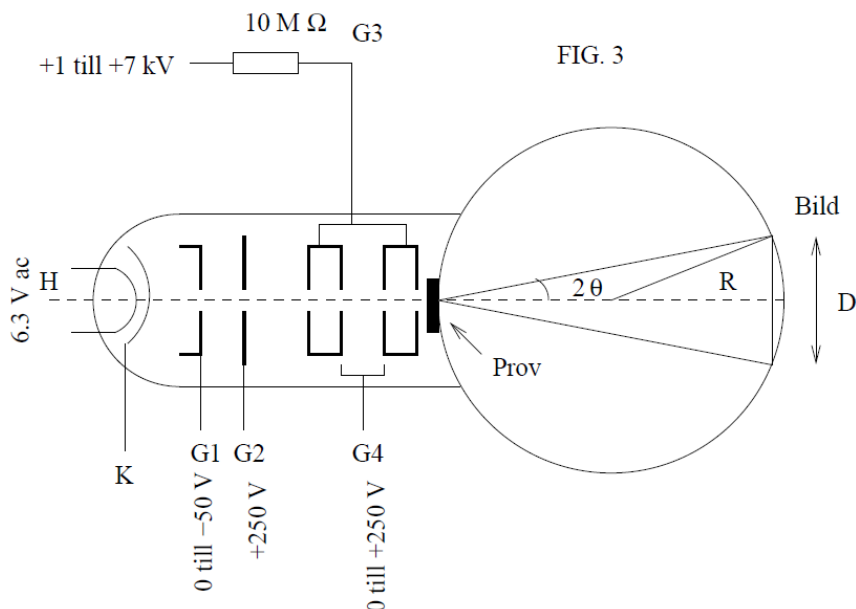
2. a)

Laserljus passerar en dubbelspalt med avståndet $0,10 \text{ mm}$ mellan spaltöppningarna. På avståndet $5,00 \text{ m}$ från spalterna fångar man på en skärm upp ett interferensmönster. Avståndet mellan centralbilden och första ordningens bild är $3,0 \text{ cm}$. Beräkna ljusets våglängd.



b) I ett laboratorium utförs ett interferensförsök där en kristall bestrålas med röntgenstrålning vars våglängd är $0,15 \text{ nm}$. Ett i huvudsak likadant interferensmönster kan erhållas om kristallen istället bestrålas med elektroner som accelererats över en viss spänning. Hur stor är denna spänning?

I labbsal T112 har ett experiment med materievågor utförts. Några av de viktigaste komponenterna i experimentet avbildas i figuren nedan.



c) Alla labbgrupper uppgav att de observerade ringar med minskande diametrar när de ökade accelerationsspänningen. Förklara detta kvalitativt.

- d) Vi kan relatera vinkeln θ till R och D i figuren ovan mha trigonometri enligt formeln

$$\theta = \frac{1}{4} \arcsin \left(\frac{D}{2R} \right). \quad (1)$$

Använd nu formeln (1) ovan, tillsammans med Braggs lag

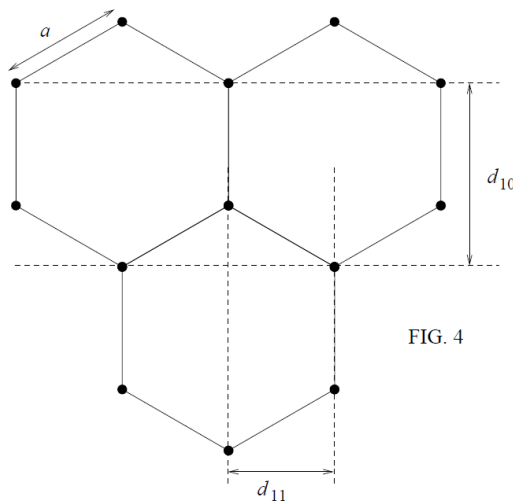
$$2d \sin(\theta) = n\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

för att för små vinklar visa följande viktiga samband från laborationen

$$d \approx \frac{4R}{D} \lambda. \quad (2)$$

- e) Alla labbgrupper uppgav att de observerade två ringar av olika storlek på skärmen (dvs längst till höger i figuren ovan).

Förklara kvalitativt mha figuren nedan samt gärna med någon formel från kursen varför ni såg två ringar av olika storlek.



3. Två likadana cirkulära metallplattor med radien 10 cm sitter monterade parallellt på avståndet 1.0 cm från varandra (som en plattkondensator). Mellan plattorna uppmäts en spänning på 1.0 V. Den elektriska energin som omsätts i en yttre krets (tex i en resistor) som sammanbinder de två plattorna när en elektron går från minuspolen till pluspolen genom den yttre kretsen är lika stor som det mekaniska arbetet som åtgår för att förflytta en elektron från pluspolen till minuspolen mellan plattorna.

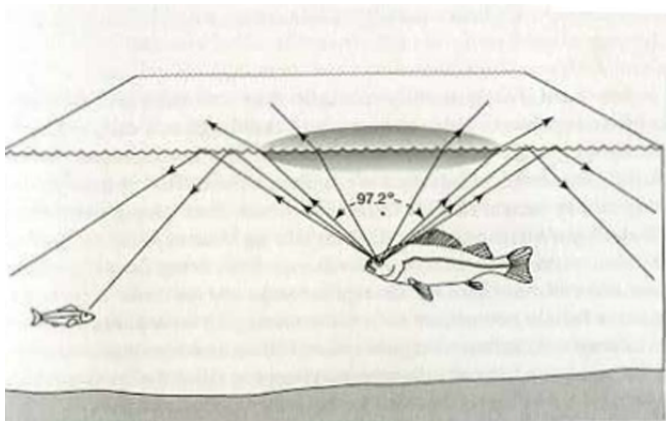
- a) Hur stor (medel-)kraft behövs för att flytta elektronen från pluspolen till minuspolen mellan plattorna?
- b) Vad är den elektriska fältstyrkan $|\vec{E}|$ mellan plattorna?
- c) Vilken styrka på ett magnetiskt fält $|\vec{B}|$ (i frånvaro av elektriska fält) orsakar en kraft av samma storlek som i a) på en elektron som rör sig vinkelrätt mot \vec{B} med farten 1.0 m/s?

Den elektriska spänningen mellan de två cirkulära metallplattorna sjunker nu från 1.0 V till 0 V linjärt i tiden under 1.0 sekund.

- d) Vad är den totala förskjutningsströmmen (eng: *displacement current*) mellan plattorna under denna sekund?
- e) Vad är magnetfältets styrka mellan plattorna på ett avstånd av 5.0 cm från cirkelskivornas mittpunktsnormal under denna sekund?

4.

- a) En fisk kan bara se en begränsad del av det som finns ovanför vattenytan, genom det cirkulära skuggade området i bilden nedan som kallas för Snell's window.



Vilket värde på brytningsindex för vattnet implicerar bilden?

Det finns flera olika idéer om hur en skall kunna färdas långt i rymden utan att använda medhavt bränsle till framdriften. Den kanske enklaste att modellera är att segla parallellt med solstrålarna och fånga upp dessa med ett vinkelrätt perfekt reflekterande segel. På liknande avstånd från solen som jorden ligger är effekten per kvadratmeter från solstrålarna av storleksordningen 1.0 kW. Om vi antar att alla solstrålar har våglängden 500 nm. Vad är då trycket på solseglet:

- b) Om du använder den klassiska elektromagnetismen enligt Maxwell?

- c) Om du använder fotonteorin?

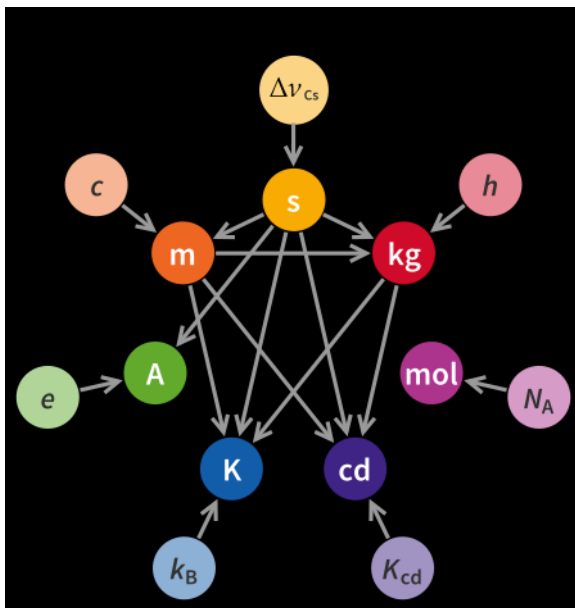
“The well-funded Breakthrough Starshot project announced in April 12, 2016, aims to develop a fleet of 1000 light sail nanocraft carrying miniature cameras, propelled by ground-based lasers and send them to Alpha Centauri at 20% the speed of light.”

Enligt citatet ovan vill vissa använda lasrar på jordens yta som är riktade mot segeln ute i rymden för att öka accelerationen av farkosterna.

- d) Anta att en sådan laser har effekten 1.0 kW som helt når fram till seglets yta. Hur kommer våglängden på laserljuset att påverka trycket på seglet?

- e) Om seglet är långt borta från jorden kan det bli problem med att ljuset som kommer ut ur laserns öppning sprids för mycket på vägen till seglet. Hur kommer våglängden på laserljuset då att påverka trycket på seglet?

5. Följande text är ett utdrag från *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) webbsida efter offentliggörandet av den nya definitionen av ett kilogram i maj 2019: “The kilogram, symbol kg , is the SI unit of mass. It is defined by taking the fixed numerical value of the Planck constant h to be $6.62607015 \cdot 10^{-34}$ when expressed in the unit $J\,s$, which is equal to $kg\,m^2\,s^{-1}$, where the metre and the second are defined in terms of c and $\Delta\nu_{Cs}$.”



a) Visa att den i texten ovan nämnda enhetslikheten $J\,s = kg\,m^2\,s^{-1}$ gäller.

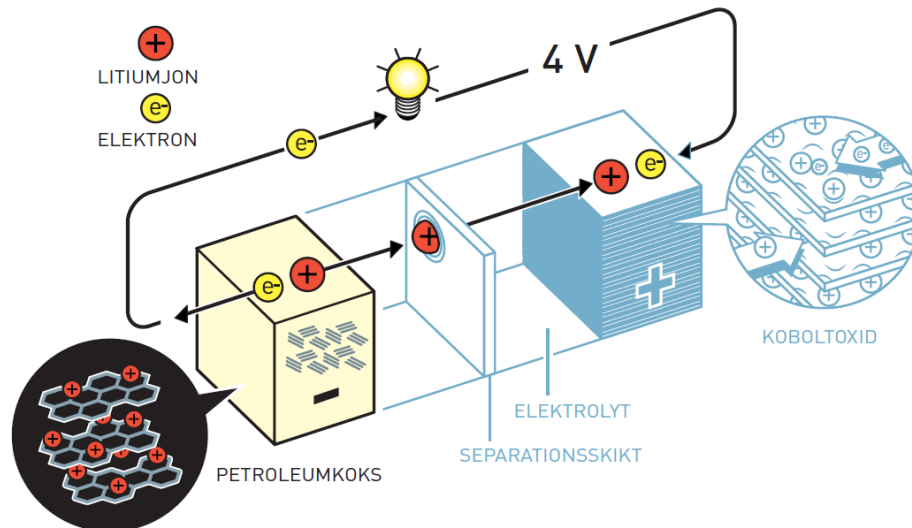
Sedan tidigare är även ljusfarten i vacuum c uttryckt i m/s definierad till det fasta numeriska värdet 299792458. Med hjälp av c och en viss frekvens ($f = E/h$) betecknad $\Delta\nu_{Cs}$ kan, som nämns i texten ovan från BIPM, enheterna meter m och sekund s uttryckas. Frekvensen $\Delta\nu_{Cs}$ är kopplad till en speciell övergång mellan två energinivåer i en cesiumatom och har det fasta numeriska värdet 9192631770 uttryckt i Hertz.

b) Kan ett mänskligt friskt öga se ljuset från cesiumatomerna som har frekvensen $\Delta\nu_{Cs}$?

Fixeringen av det numeriska värdet på h har kanske gjort Heisenbergs “osäkerhetsrelation” lite “säkrare”...

c) Vad får du för uppskattning av (rörelse-)energin på en elektron som är inspärrad i en endimensionell oändligt djup brunn med bredden 1 nm mha av lämplig Heisenberg relation?

Nobelpriset i kemi 2019 belönade tre av utvecklarna bakom litiumjonbatterier: “Litiumjonbatterier har gjort största nytta för mänskligheten, bland annat genom att möjliggöra bärbara datorer, mobiler, elbilar och lagring av sol- och vindkraft.”



“År 1991 började de första litiumjonbatterierna säljas av ett stort japanskt elektronikföretag, vilket ledde till en revolution av elektroniken. Mobilerna krympte, datorerna blev bärbara och vi fick musikspelare och surfplattor.”

- d) Om varje litiumjon har 1 positiv elementarladdning (eng: *a monovalent atom*) och det går en ström $I = \Delta q / \Delta t = 10 \text{ A}$ från en batteri-cell, hur många litiumjoner per sekund går då från minuspolen till pluspolen i batteri-cellen?
- e) Spänningen från en litiumjonbatteri-cell är ca 3.7 V, så att 10 A ström innebär den elektriska effekten 37 W från varje cell. Det totala batteriets kapacitet kan ökas genom att seriekoppla flera battericeller, vilket ger ökad spänning, eller genom att parallellkoppla flera celler, vilket ger större total ström. I båda fallen ökar massan litium som behövs linjärt med den teoretiska effekten. I praktiken vill en ha relativt höga spänningar, vilket minskar resistiva förluster, och väljer ofta en spänning där det redan finns utvecklade standardkomponenter på marknaden. En elbil som kör genom Örebro län har i medeltal motoreffekten 20 kW under en timma. Vilken total massa har de litiumjoner som vandrar genom batteriet under den en timma långa färden enligt vår förenklade modell?

6.

Vi önskar att en elektron i en endimensionell (1D) oändlig brunn ska sända ut en foton med energin 2.5 eV när den övergår från första exciterade tillståndet till grundtillståndet.

- a) Vilken bredd skall brunnen ha?
- b) Vilken färg har det utsända ljuset?

Vi önskar att en elektron i en tredimensionell (3D) oändlig brunn, där kantlängderna uppfyller $L_x = 2L_y = 2L_z$, ska sända ut en foton med energin 2.5 eV när den övergår från första exciterade tillståndet till grundtillståndet.

- c) Bestäm L_x .
- d) Ge exempel på degenererade energinivåer, dvs ange minst två olika kvantalstripplar (n_x, n_y, n_z) som har samma energi, samt ange denna energi i SI-enheten J .
- e) Betrakta den tredimensionella (3D) oändliga brunnen enligt c) ovan som en förenklad potential för en atom där elektronerna inte växelverkar med varandra förutom genom Paulis uteslutningsprincip (eng: *Pauli exclusion principle*). Vad blir energin för det första exciterade mångpartikel tillståndet i atomen om atomens kärna har 10 protoner?